

自動焦点調節装置の試作と焦点調節精度

服 部 璋 ・ 岡 本 裕 幸^{*} ・ 大 村 英 治^{**}

Study of Automatic Focusing Device and Focusing Precision

Akira HATTORI, Hiroyuki OKAMOTO
and Eiji OHMURA

ABSTRACT

A new apparatus which is automatically focused by means of a photoelectrical measurement of the quality of images is devised. The method of detection of a focus is one of those usually adopted, that is, when images projected onto a detector are brought into the best focus an output of the detector reaches an extremum. In this study, electrical circuits having two track-hold circuits as a main component are used. Two output values of the detector are differentiated periodically and this differential output reaches zero when the images are brought into the best focus. When a motor is driven by a voltage proportional to the output the lens stops at the best focus position. The apparatus is attached to a marketed enlarger and performances of the apparatus are evaluated with a newly developed method. It is clarified that performances of the apparatus are excellent.

The apparatus which measure focusing performances is produced. The focusing time, the size and dispersion of the difference between lens position and best focus position are measured by the apparatus. As a result, it is clarified that the automatic focusing time is shorter than manual focusing time, while in point of correct focusing, there is no difference between the automatic type and manual one.

1. 緒 言

現在市販されている自動焦点調節装置を取付けた光学機器にはCdSなどの光導電素子を用いて、レンズとフィルムの間隔を一定に保つようにしたプロジェクタ、最初ピントを合わせておくと引伸し倍率を変えてもカム機構により自動的にピントが合うようにした引伸機、空気圧を利用して対物レンズとステージの間隔を一定に保つ機構の自動焦点調節式顕微鏡などがある。これらの装置はできた像の良さを検出して、レンズを操作する方式ではなく、最初肉眼により最良のピント位置を設定する必要がある。従って、この方式のものでは、最初像がぼけていると、いつでもぼけた像となる。また、像のできる面を動かすと、そのたびに肉眼でピントを合わす必要があり、自動焦点調節装置としては完全なものとは云えない。

現在市販または、研究中のカメラ用自動焦点調節装置は大別すると次の三つの形式がある。すなわち、(1)基線距離計型と云われるもので、レンジファインダの2重像合致の判定をヘネウエル社のビジトロニックモジュールにより電子的に行なうようにしたものが、その主なるものである。(2)経過時間測定型と云われるもので、カメラに取付けた発信器から出る超音波を被写体にあて、その反射時間を測定してピントを合わせる方式である。超音波の代わりに光を利用するものもある。(3)鮮明度検出型と云われるもので、像の良さをCdSのような光導電素子により検出してピントを合わせる方式である。(1)(2)の方式のものを取付けたカメラはかなりの多くのメーカーにより市販されているが、いずれも焦点調節精度が十分でないため、焦点距離が38mm程度のレンズを取付けた中級カメラである。(3)の方式は焦点調節精度はよいが、装置について研究すべき点が多いからため、試作品は二、三発表されているが市販品は未だない。

本研究は、この(3)の方式の自動焦点調節装置についての研究を行なったものである。この(3)の方式について従来研究されている主なるものには次のようなものがある。(a) 1個の光導電素子表面に最良像面がくると、この光導電素子を用いた検出器の出力が極値となるので、この極値においてパルスが発生させ、このパルスを利用する。¹⁾(b) 2個の光導電素子と抵抗でブリッジ回路を組み、このブリッジ回路の出力を利用する。²⁾(c) 光導電素子を一定周期で振動させると、最良像面が光導電素子検出器の振動中心に一致すると、検出器の交流出力信号は2倍の周期となることを利用する。³⁾(d) 表面上にできたスリット像の位置によって出力が変化する特殊な光導電素子を利用する。⁴⁾⁵⁾

本研究は、ピント検出部に2個のCdSと2個の抵抗を組合わせて作ったブリッジ回路を用いた点では、前記の(b)の方法と同じであるが、レンズの移動量に対する検出器出力の勾配に比例した電圧をトラックホールド回路により作り、この電圧によりレンズを駆動させ、レンズが最良ピント位置にくると勾配が0となり、レンズが停止する新しい方式の自動焦点調節装置を試作した。そして、この装置を市販の引伸機に取付けて、この装置の実用的性能について測定を行なった。また、自動焦点調節装置を取付けたカメラ、引伸機などが早くより研究されているが、現在のところ、市販品は余り多くない。これは従来の手動式の焦点調節方式を自動式のものに変えたとき、どのような利得があるかに非常に関係している。そこで、本試作装置を含めた種々な手動式、自動式による引伸機の焦点調節精度について測定と検討を行なったことについて報告する。

2. 試作装置の動作原理

試作装置の動作原理は次に述べるようなものである。図1は試作装置における検出器と操作回路の一部を示したものである。図2における連続曲線はレンズを下端から上端まで一定速度で移動させたときの検出器の出力を増幅したもの、すなわち、図1のA点における出力を示す。連続曲線のP点における値は、レンズを移動させ、CdS面上に最良像面が来たときの出力電圧を示す。図2の不連続曲線は点Aの出力電圧を一定周期でトラックホールドしたもの、すなわち、図1の点Bの出力を示す。図3は点Aの出力と点Bの出力とを加算増幅した図1の点Cでの出力を示す。点Bの出力は点Aの出力と極性が逆であるから加算するということは差をとることになる。点Cの加算増幅器出力をさらにトラックホールドしたもの

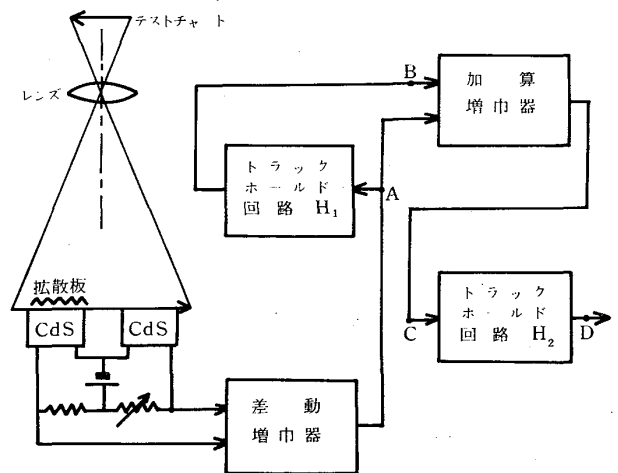


図1 検出器と操作回路の一部構成図

の、すなわち、図1の点Dの出力波形は図4に示すようなものになる。点Dの出力曲線を見ると、レンズをピントの合う方向に一定速度で移動させると、ピントの合った位置で出力が0になることがわかる。それ故この点Dの出力に比例した電圧でサーボモータを回転し、レンズを駆動させると、レンズはピントの合った位置に停止することになる。点Dの出力はレンズを移動させなければ現れないので、レンズがどの位置に停止していても最初強制駆動電圧をサーボモータに加えレンズを強制的に移動させる。そして、点Dでの出力電圧の絶対値が一定電圧以上になると強制駆動電圧は自動的に切れるようにした。サーボモータに強制駆動電圧を加えレンズがピントの合う方向に移動するとき、検出器の出力曲線に勾配がない間は強制駆動電圧によりレンズは移動するが、出力曲線に勾配が現われ、ある値以上になると、強制駆動

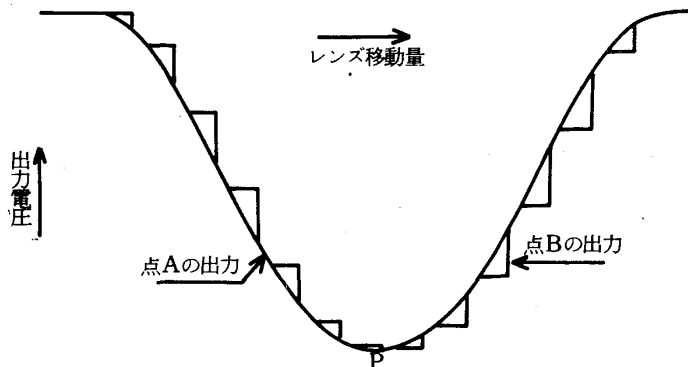


図2 点A、Bにおける出力電圧

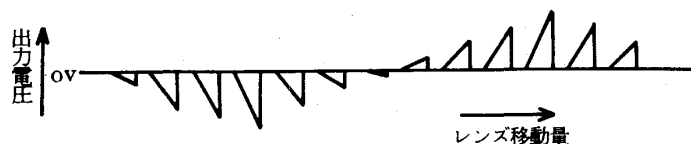


図3 点Cにおける出力電圧



図4 点Dにおける出力電圧

電圧が切れ、その後は勾配に比例した電圧でレンズが移動し、出力曲線の極値、すなわち、最良ピント位置でレンズは停止する。サーボモータに強制駆動電圧を加え、レンズがピントのぼける方向に移動するときは、レンズはある程度移動した後リミットスイッチにより逆方向、すなわち、ピントの合う方向に移動し、レンズは前記と

同じ動作をして、最良ピント位置で停止する。以上の動作原理に基づいて、試作した装置の回路構成は図5に示してある。

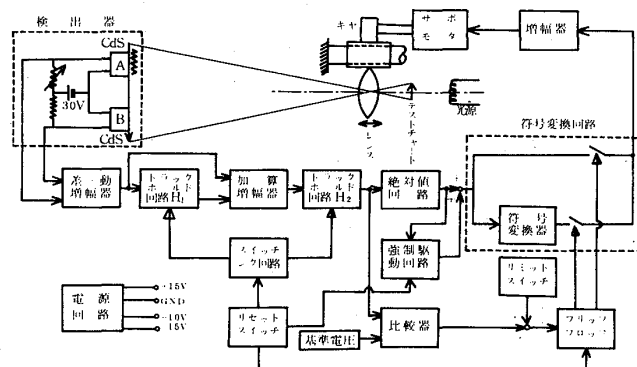


図5 試作装置の回路構成図

3 試作装置

図6、図7は試作した自動焦点調節装置の実際の回路図である。図5における検出器は特性の大体同じである2個のCdS A、Bを用い、Aの前に拡散板をおき、イーゼルの中央に取付けた。トラックホールド回路 H_1 および H_2 はOPアンプとFETを用いて構成した。トラックホールド回路 H_1 および H_2 のゲインはそれぞれ OdB 約14dBとした。トラックホールド回路のスイッチング周期が短かければ短いほど操作部の出力は検出器出力の勾配に近くなるが、ノイズの影響が大となり S/N が悪くなる。スイッチング周期を長くすれば、 S/N はよくなるが操作部の出力が検出器出力の勾配とはかなり違ってくる。この点を考慮して、 H_1 、 H_2 の周期は45msとし、トラック時間は15ms、ホールド時間は30msとした。また、 H_1 のスイッチ閉時刻は H_2 のそれより30msほど位相を進ませた。スイッチング回路には無安定マルチバイブレータ1個と、単安定マルチバイブレータ2個を用い、可変抵抗によりスイッチング周期やトラック時間を変えることができたようにした。トラックホールド回路のスイッチングがノイズにより乱されるのを防ぐためスイッチングの各所にNAND回路をつけた。

トラックホールド回路 H_2 の出力が正負いずれが現われても強制駆動電圧を切るために H_2 の出力を絶対値回路に通す。強制駆動電圧は最初リセットすると出力として、+15Vが現われるが、 H_2 の出力の絶対値がある一定電圧(約2.5V)を越すと強制駆動電圧は0になる。それ以後入力がどのように変化してもリセットしない限り強制駆動電圧は0である。

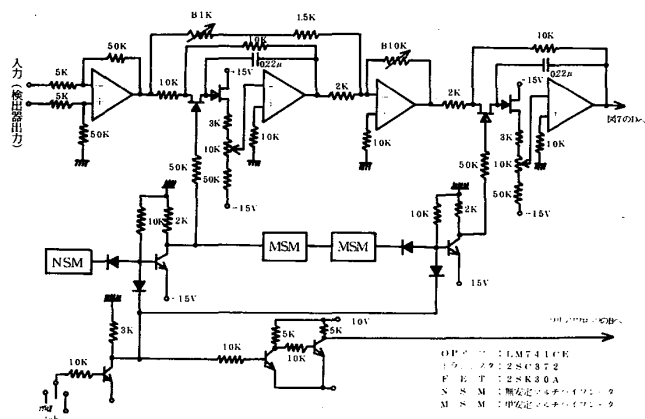


図6 試作装置の回路図 (a)

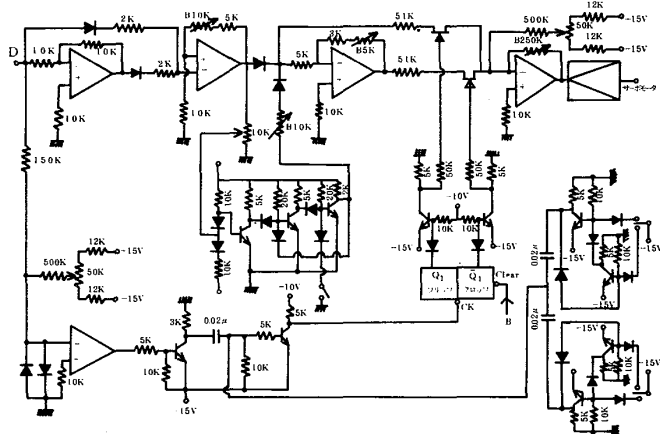


図7 試作装置の回路図 (b)

符号変換回路はレンズの移動方向を切換える回路である。比較器、リミットスイッチ、フリップフロップはレンズの移動方向を選択、決定する回路である。符号変換回路の入力は、 H_2 の出力の絶対値をとった電圧か、強制駆動電圧のどちらかである。この正の入力をそのまま出力とした V^+ 側と、符号変換して負の出力にした V^- 側とに分ける。最初フリップフロップをリセットすると V^+ が導通となるようにする。その正の電圧によりレンズがピントの合う方向に移動すればそのまま V^+ 側の電圧によりレンズを移動させる。次に正電圧によりレンズがピントのはずれる方向に進むと、ピント位置附近では H_2 の出力が正になるのでそれを比較器により検出してフリップフロップにパルスを入れる。また、レンズが移動し得る範囲の両端に取付けてあるリミットスイッチに接してもフリップフロップにパルスを入れる。これによりフリップフロップの状態が逆転し V^- 側が導通となるので、

その負電圧によりレンズが逆にピントの合う方向に進むようになる。符号変換回路の出力ではサーボモータを回転させるのに十分な電流が得られないので、符号変換回路の次に電圧および電流増幅器をつけた。

レンズ移動用サーボモータは直流用で最大回転数 258 rpm, 出力 3.8 W, 時定数 109 ms である。歯車とウォームを用いて、このサーボモータの回転数は $\frac{1}{6}$ に減速した。

ピント検出用のテストチャートはピッチが 0.18 mm の基板の目チャートで高解像力乾板 (2000 本/mm) を用いて作製した。

4. 焦点調節精度の測定

4.1 ピント検出時における試作装置の出力測定

試作した自動焦点調節装置をとりつけた引伸機のレンズを最良ピント位置より下方 4 mm のところにおいて動作を開始させ、ピントが合うまでのサーボモータへの入力電圧と、レンズの移動量を差動変圧器で変換した電圧を 2 現象メモリ型オシロスコープへ加えて、その波形を写真撮影したものが図 8 である。

写真における不連続な線の縦軸はサーボモータへの入力電圧で 1 div が 2 V である。横軸は時間を示し、1 div が 0.1 s である。また、この写真は引伸しレンズの絞りが F 4.5 で、引伸倍率は 8 倍の場合のものである。写真において、左上の約 12 V を示す線は強制駆動電圧によるものである。強制駆動電圧はレンズが最良ピント位置に近づくと、切れて、トラックホールド回路 H_2 の出力に比例した電圧がサーボモータに加わっている。 H_2 の出力に比例した電圧の中で一定周期で一定になっているのは H_2 がホールドしている状態であり、一定電圧から一定電圧に移る部分は H_2 がトラックしている状態である。図 8 で H_2 の出力に比例した電圧は強制駆動電圧に比べて

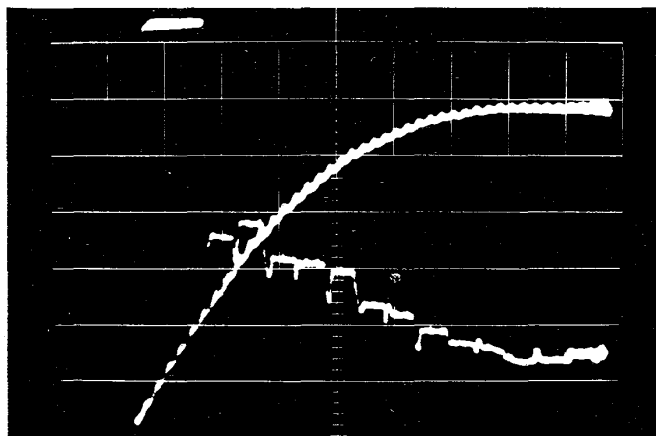


図8 ピント検出時のサーボモータへの入力電圧とレンズの移動量

かなり小さいのは、最良ピント位置附近でレンズ駆動系の慣性による行き過ぎを防ぎ精度を上げるためである。

図8の連続な曲線はレンズの移動状況を示すもので、縦軸の1 divは0.075 mmのレンズの移動量に相当する。横軸は時間を示し、1 div当りが0.1秒に相当する。

図8より、レンズは強制駆動電圧により最初一定速度で移動し、強制駆動電圧が切れるとトラックホールド回路 H_2 の出力に比例した電圧による速度で移動し、 H_2 の出力が0に近くなるとき停止することがわかる。

4.2 ピント合わせ時間の測定

自動焦点式引伸機のピント合わせ時間およびレンズの停止位置の大きさとそのばらつきを測定する装置の概略図が図9である。引伸レンズをピントの合った位置から一定距離 l mmずらして自動焦点調節を行なわせ、そのときのサーボモータへの入力電圧を記録計に記録する。なお、この実験は $l=1$ mm、 $l=2$ mmの場合について、それぞれ20回繰返して行なった。そして、記録したサーボモータへの入力電圧の時間的変化からピント合わせ時間を求めた。また、引伸レンズを移動させ、その移動量を差動変圧器と変位測定器により電圧に変換させ、この電圧をX-YレコーダのY軸に入れ、X軸を時間軸にして得られるレンズの移動量の時間変化を示す曲線よりピント合わせ時間を求めた。そして、両者を平均してピント合わせ時間の測定値とした。

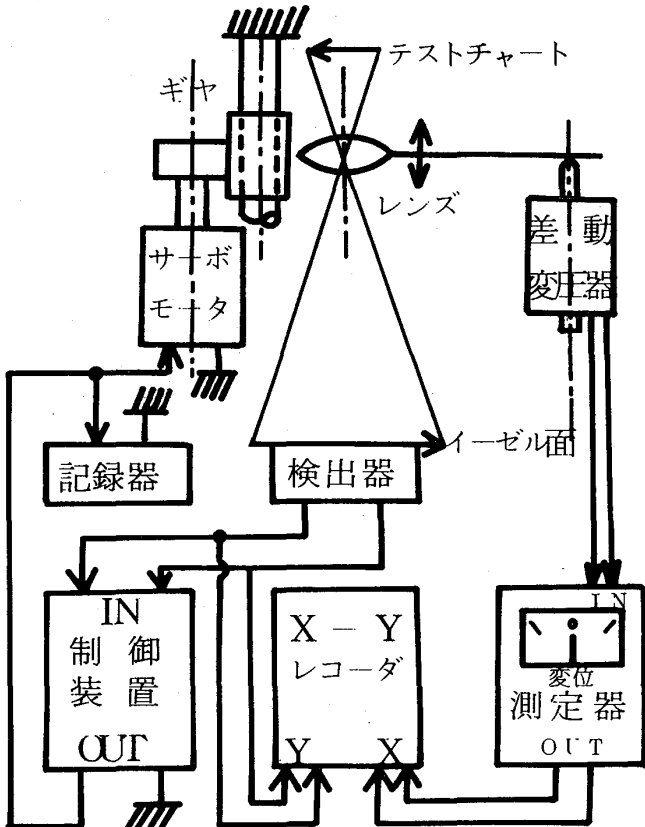


図9 焦点調節精度測定装置

手動式自動焦点調節精度の測定は図9の測定装置で、引伸レンズを最良ピント位置より下方に l mmずらしてから、肉眼で像を見ながら、あるいは、発光ダイオードを利用した検出器を用いるなどして、手動で引伸レンズを移動させてピントを合わせる。そして引伸レンズの移動量を差動変圧器と変位測定器により、電圧に変換してX-YレコーダのY軸に入れる。X軸を時間軸にして得られるレンズの移動量の時間的変化を示す曲線よりピント合わせ時間を求めた。図10は肉眼で像を見ながらピントを合わせた場合のレンズの移動量の時間的変化を、上記の方法で記録したものの一例である。縦軸はレンズの移動量、横軸は時間を示している。

引伸倍率8、引伸レンズのF値5.6の場合の自動式と肉眼を用いた手動式の焦点調節によるピント合わせ時間の測定結果を示したものが表1である。手動式の値は引伸処理経験のある被検者5人について、各人の試行回数20回の測定値の平均である。

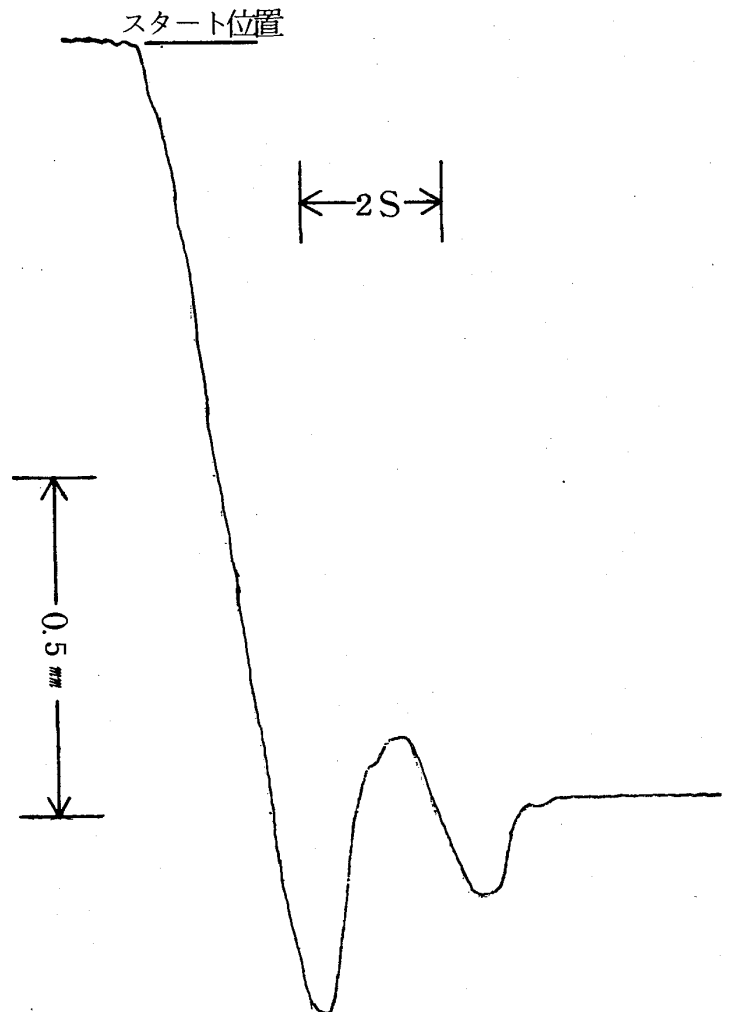


図10 手動式によるピント合わせ時間の測定

表1 ピント合わせ時間

焦点調節開始位置	最良ピント位置 より1mm下	最良ピント位置 より2mm下
試作した自動焦点 調節装置による	1.3秒	2.1秒
手動式の焦点調節 による	5.6秒	6.0秒

4.3 レンズ停止位置のばらつきの測定

自動焦点調節装置によるピント合わせにおいて、レンズ停止位置のばらつきが大きいと、実用性に乏しくなる。このばらつきの測定は図9に示した装置で行なうことができる。レンズの移動量は差動変圧器と変位測定器により電圧に変換させる。そして、この電圧はX-YレコーダのX軸に入れる。引伸レンズによるテストチャートの像はCdS検出器上につくり、その検出器の出力をX-YレコーダのY軸に入れる。このようにしてX-Yレコーダにより得られた曲線は、CdS検出器の出力とレンズの位置との関係を示すものである。この曲線で極値となる位置が、レンズの最良ピント位置である。つぎに、レンズを最良ピント位置より ℓ mmほど降ろし、その位置から試作した自動焦点装置を動作させて、レンズの移動量を示す電圧のみをX-YレコーダのX軸に入れて記録する。そして、この記録紙よりレンズの停止位置とレンズの最良ピント位置との差を測定する。

図11は引伸倍率10倍、レンズの絞りF4.5、 $\ell=2$ mmの場合についてX-Yレコーダに前記の2量を記録させたものである。

表2は前述の方法により測定した引伸倍率6倍、8倍および10倍のときのレンズの停止位置とピントの合った位置とのずれ、および、その標準偏差を示したものである。また、表2には、手動により引伸機のピント合わせを行なったときのピントのずれの平均値と、その標準偏差が示してある。

表2 引伸レンズの停止位置と最良ピント位置との差

焦点調節 開始位置	自動焦点調節装置による			手動式ピン ト合わせに よる
	引伸倍率 6倍	引伸倍率 8倍	引伸倍率 10倍	
最良ピン ト位置よ り1mm下	0.034mm (± 0.018 mm)	0.030mm (± 0.027 mm)	0.022mm (± 0.015 mm)	0.064mm (± 0.038 mm)
最良ピン ト位置よ り2mm下	0.027mm (± 0.018 mm)	0.031mm (± 0.019 mm)	0.031mm (± 0.021 mm)	0.072mm (± 0.046 mm)

() の数は標準偏差の値

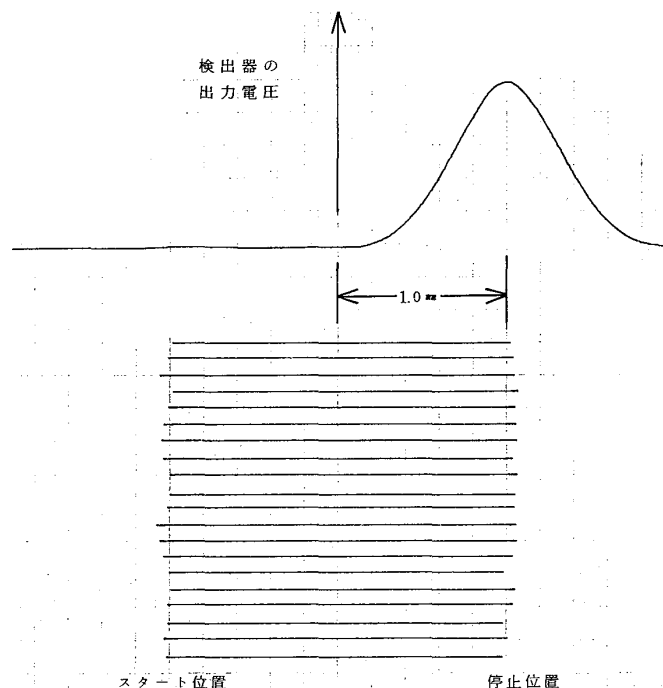


図11 レンズ停止位置の測定

試作した自動焦点式引伸機について実用性を確めるための撮影試験を行なった。引伸倍率は6倍、8倍および10倍、レンズの絞りはF4.5にして、各倍率について20回連続動作させ、印画紙に焼付けてみたが、いずれの印画紙も、ピッチ0.012mmの解像力テストパターン（解像力約80本/mm）の像がはっきりとうつっていた。この測定結果より、前記表2に示した程度のピント位置のずれやばらつきがあっても、実用上は少しも差支えないことが明らかとなった。

4.4 自動式と手動式の焦点調節精度

自動式と手動式の焦点調節精度を比較するため、表3に自動式と手動式の焦点調節法による測定結果を示した。この表の値は、引伸倍率8倍、引伸レンズのF値5.6の場合について、引伸レンズを最良ピント位置より1mm下においてピント合わせを開始させたときのピント合わせ時間、レンズの停止位置と最良ピント位置との差、およびこれのばらつきの値（標準偏差値）である。

焦点調節方式の(2)は前述の自動焦点調節装置に用いた検出器と同じ検出器を用い、その出力を増幅して、それにより発光ダイオード(LED)を点灯し、最良ピント位置で発光ダイオード(LED)が最も明るくなるように試作した装置によるものである。ただし、レンズは手動により操作する。

手動式の焦点調節精度はピント合わせの経験の有無による個人差がかなりあったので、この表の値は引伸処理

経験が相当豊富にある5人を選んで、それらの人についての測定値の平均である。また、同じ人でもピントをよく合わせようとする、ピント合わせ時間が長くなり、ピント合わせを早くしようとする、ピントが正確に合わなくなる。この表の(3)、(4)の手動焦点調節の値はピント合わせを早くするとか、ピントを特に正確に合わせることを余り意識せずに行なった場合の平均値である。

表3 自動式と手動式の焦点調節精度

焦点調節方式	ピント合わせ時間	レンズの停止位置と最良ピント位置との差
(1) 試作した自動焦点調節装置による	1.3 秒	0.03 mm (0.03 mm)
(2) LEDを利用した検出器を用いた手動焦点調節による	4.8 秒	0.04 mm (0.03 mm)
(3) 一ペを使用した手動焦点調節による	5.2 秒	0.07 mm (0.04 mm)
(4) 肉眼を用いた手動焦点調節による	5.6 秒	0.06 mm (0.04 mm)

() の数は標準偏差の値

5. 結 語

2個のCdSを検出部に用い、トラックホールド回路を主とした回路を用いた新しい方式の自動焦点調節装置を試作した。そして、この装置の性能測定法を研究し、本試作装置を取付けた引伸機の性能測定を行なった。また、手動式による引伸機の焦点調節精度について測定を行なった。その結果、次のような事項が得られた。

1. 本試作装置によりピント合わせを行なったとき、レンズの停止位置についてのばらつきは±0.03 mm以内であった。

2. レンズの平均停止位置は最良ピント位置から0.035 mm以内の距離におさまる、ばらつきと相重なっても像の悪化は撮影試験では見られなかった。

3. ピント合わせ時間は、レンズをピントの合った位置から1 mmずらしてピント合わせを行なった場合は1.3秒であり、2 mmずらした場合は2.1秒であった。

4. 本試作装置のピント合わせ時間、およびピント合わせ精度は、手動式のものよりかなり良好であることが明らかとなった。なお、機械的駆動部分の改善により、これらの性能はさらに向上するものと思われる。

5. 手動式焦点調節精度は自動式に比べ、ピント合わせ時間はかなり遅くなるが、正確にピントを合わせる点ではあまり差がない。また、手動式ではピント合わせ時

間、正確にピント合わせる点でも、引伸処理経験の有無による個人差がかなりある。

おわりに、本研究に対して、多大の協力を得た広島大学工学部の藤野孝子嬢、高橋和子嬢に深く感謝の意を表する。

《参 考 文 献》

- 1) G.Crawley: The Canon Autofocus, The British Journal of Photography, 5(1963) 278.
- 2) たとえば、安藤邦郎: 自動焦点調節装置, 特許公報, 昭43-10265。
D.R.Craig: Image Sharpness Meter, Phot. Sci. and Eng., 5(1961)337.
- 3) たとえば、山口意峯男: 自動焦点カメラ, 特許公報, 昭41-16224.
- 4) 小林万伸: 光学系における焦点の電気的検知装置, 特許公報, 昭39-24153.
- 5) 渡辺浩光: 投影機の自動焦点装置, 特許公報, 昭47-39893.